ISSN (Print) 1226-5268 ISSNS (Online) 2287-7169
The Journal of Engineering Geology, Vol.26, No.4, December, 2016, pp. 497-503
https://doi.org/10.9720/kseg.2016.4.497

CGVM 공법을 이용한 지반개량 효과 검증

김종태[1] · 최영준[2] · 정교철[3]*
[1]한국건설기술연구원 하천실험센터, [2]삼수개발(주), [3]안동대학교 지구환경과학과

Assessment of Ground Improvement Achieved using the Cement Grouting by Vibration Method

Jong-Tae Kim[1], Young-Jun Choi[2], and Gyo-Cheol Jeong[3]*
[1]River Experiment Center, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology
[2]Samsoo Development Co.
[3]Dept. of Earth and Environmental Sciences, Andong National University

Received 28 November 2016; received in revised form 11 December 2016; accepted 16 December 2016

가진발생장치를 이용한 시멘트 주입공법(CGVM)은 국내에서 개발된 건설 신기술로써 가진된 주입재가 대상지반으로 주입되어 지반보강 효율을 증대시키는 기술이다. 따라서 본 연구에서는 CGVM 공법의 현장적용 및 시공효과를 검증하는 것이 목적으로써 2개의 연구지역을 선정한 후 시공 전·후에 대해 표준관입시험과 현장투수시험 및 지구물리탐사 결과를 비교하였다. 표준관입시험을 통한 시공 전·후 비교 결과 N 값이 33.57~60.90% 증가된 것으로 나타났으며 현장투수시험의 경우 시공 후 투수계수가 감소된 것으로 보아 차수효과 및 저수지 제체의 안정성 증대 등을 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 전기비저항탐사 결과 시공 전에 비해 누수로 인한 저비저항대가 관찰되지 않아 그라우팅 효과가 매우 뛰어난 것으로 나타났다.

주요어: CGVM, 지반보강, 표준관입시험, 현장투수시험, 지구물리탐사

The cement grouting by vibration method (CGVM), a new construction technology developed in Korea, aims to efficiently reinforce a target ground area by injecting vibrated grout into it. The present study applies the CGVM to test sites and verifies its effect. Standard penetration tests (SPTs), field permeability tests, and geophysical surveys were conducted in two study areas, and the results were compared between before and after CGVM application. The SPT conducted before and after the CGVM application showed that the N value was increased by 33.57% point to 60.90% point. The field permeability test showed that the permeability coefficient decreased. These results indicate that CGVM may increase imperviousness and improve reservoir system stability. In addition, a resistivity survey found no low-resistivity zone, unlike before the CGVM application, thereby indicating the excellent grouting effect of the CGVM.

Key words: CGVM, ground improvement, standard penetration test, field permeability test, geophysical survey

서 론

그라우팅 공법은 지반개량뿐만 아니라 저수지와 제방 등에 대한 소규모 누수구간 적용, 지하수 차단 등 다양한 용도로 사용되고 있다. 그라우팅 주입재인 시멘트 현탁액은 지반강도의 개량효과가 크고 재료비가 저렴하여 다른 주입재보다 현장에서 광범위하게 사용되고 있다. 그러나 파쇄대, 절리 등 지질특성에 따라 주입재 적용의 어려움이 발생하므로 최근 주입재의 침투성을 향상시키고 보강효율을 증대시킬 수 있는 가진발생장치를 이용한 시멘트 주입공법(CGVM, Cement Grouting by Vibration Method)이 개발되었다(건설신기술 제 662호).

CGVM 공법은 국내에서 개발된 건설 신기술로써 가진된 주입재가 대상지반으로 주입되어 지반보강효율을 증대시키는 기술이다(Samsoo Development Co. et al., 2012; Choi et al., 2016). 기술의 원리는 대상지반에 천공을 하고 주입

*Corresponding author: jeong@anu.ac.kr
ⓒ 2016, The Korean Society of Engineering Geology
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons. org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Table 1. Field test for verification of CGVM method.

Site	Location	Geological condition	Field Test
A	Songpa-Gu Jangji-Dong	banded gneiss (Precambrian)	Standard penetration test Field permeability test
B	Cheongdo-Gun Gaknam-Myeon	Andesite, Granite (Cretaceous)	Field permeability test Geophysical survey

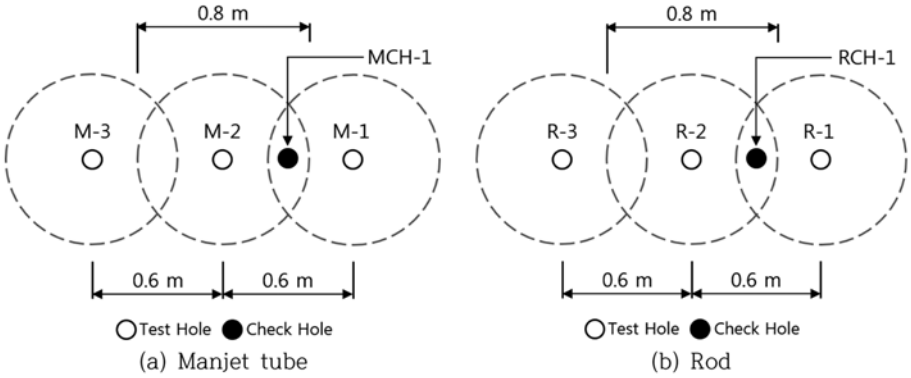

Fig. 1. Location on the test hole and check hole (Site A).

재를 교반한 후 교반된 주입재에 가진을 부여함으로써 주입재가 일정 진동수를 가지도록 한다. 주입장치의 구성은 교반기-펌프-유량계-가진발생장치 등으로 구분된다. CGVM 공법은 주입재의 침투성 증대뿐만 아니라 내구성이 높은 시멘트류 주입재를 사용하므로 지층에 따른 적용범위가 넓다. 또한 기반암층 미세절리 및 점성토층에 주입재의 침투주입이 가능한 주입공법 중 가장 우수하며 경제적인 시멘트류 주입재 활용으로, 시공성이 용이하고, 공사비 절감 및 공사기간을 단축할 수 있는 특징이 있다(Korean Geo-Environmental Society, 2013).

진동주입공법에 대한 문헌분석 결과 진동발생 개선을 위한 방법 및 주입재 연구가 주를 이루고 있다. 국내 연구에서 Yea et al. (2010)은 사질토 지반에 시멘트주입공법을 적용하여 가진주입의 효과를 확인하였으며, Lee et al. (2010)은 모형지반을 대상으로 진동주입에 의한 침투성 효과를 확인하고 이론적으로 침투능을 산정하였다. Seo et al. (2015)은 지반개량과 차수효과 증대를 목적으로 주입재에 20 Hz 이상의 주파수를 발생시켜 실내실험을 수행하였다. Yu (2014)는 가진주파수에 따른 그라우팅의 침투효과를 분석하였으며 인공지능기법을 이용하여 가진그라우팅의 침투범위를 분석하였다. 국외의 경우 Zebovitz et al. (1989)은 모래 특성에 맞는 시멘트 주입 방법에 대해 연구하였으며 실내실험을 수행하여 특성에 맞는 주입방법을 제시하였다. Stille et al. (2009)와 El Tani (2012)는 시멘트를 이용한 암반파쇄대 개량에 대한 연구를 수행하였으며 진동과 시멘트 주입에 대한 관계 분석 및 탄성을 고려한 그라우팅에 대한 연구도 수행되었다(Aggelis et al., 2005; Shiotani et al., 2009).

그러나 진동주입공법 관련 대부분 연구는 이론분석 및 실내 모형실험이 대부분이다. 따라서 본 연구에서는 CGVM 공법의 현장 적용 및 시공 효과를 분석하고 검증하는 것이 목적으로써 지질조건이 다른 2개의 연구지역을 선정한 후 시공 전·후에 대해 표준관입시험과 현장투수시험 및 지구물리탐사를 실시하여 결과 값을 비교 분석하였다.

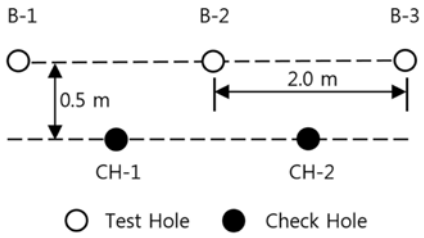

Fig. 2. Location on the test hole and check hole (Site B).

연구방법

본 연구에서는 건설신기술인 CGVM 공법의 효과 검증을 위해 서울시 송파구 장지동 일대(A 지역)와 경상북도 청도군 각남면 일대(B 지역)를 연구지역으로 선정하였다. 또한 표준관입시험과 현장투수시험 및 지구물리탐사를 실시하여 주입 전·후의 시공효과를 비교하였다. 아래의 Table 1은 연구지역 및 현장적용 전·후의 실험내용이며 Fig. 1과 Fig. 2는 A, B지역의 시험공 및 관측공의 위치를 나타낸다.

연구내용

CGVM 공법

CGVM 공법은 기존의 주입 시스템에 가진 발생장치를

추가하여 그라우트 주입액의 유동성을 증대시키고 주입 대상체에 대한 침투성을 확대시켜주는 주입공법이다. 진동에너지는 CGVM 펌프에 의해 발생되며 주입재 입자간 응집을 저지하여 유동성을 증대시켜준다. 주입압, 주입량, 주입시간 등은 자동으로 계측할 수 있는 자동기록장치를 이용하여 측정 및 관리를 할 수 있다. 또한 본 공법은 시멘트류 현탁액을 대부분 사용하므로 약액주입에 비하여 저렴하고 주입재 구입이 용이한 장점이 있으며 내구성과 지수성을 동시에 충족시킬 수 있는 단일공법으로 경제성이 우수하다. 아래의 Fig. 3은 가진 발생장치이며 Fig. 4는 CGVM의 기본 원리를 나타낸다.

Fig. 3. Vibration generator of CGVM system (Korean Geo-Environmental Society, 2013).

광역지질분석

연구지역 A는 둔전도폭(서울시 송파구 장지동 일대)에 해당하는 지역으로써 대부분 선캠브리아기 편마암류이며, 편마암류는 주로 흑운모 계열의 호상편마암으로 구성된다(Hong and Lee, 1982). 연구지역 B는 청도도폭(경상북도 청도군 각남면 일대)에 해당하는 지역으로써 중생대 백악기 경상계 신라통의 안산암이 연구지역 주변에 광역적으로 분포하고 불국사통의 흑운모화강암이 이를 관입하고 있다(Kim and Park, 1964).

표준관입시험

표준관입시험의 목적은 대상지층의 토질, 심도별 강도변화, 지지층의 위치, 연약층의 유무를 판정하기 위해 실시하며 실험결과인 N 값으로부터 지층의 상대밀도 및 연경도 확인, 토질 강도특성 등에 대한 분석이 가능하며 이를 통해 그라우팅 시공 전・후를 비교할 수 있다.

본 연구에서는 A 지역에 대해 표준관입시험을 수행하였다. 시험주입에 필요한 주입공의 수와 배열 형태는 목적에 따라 여러 가지 방법이 있으나, 본 연구에서는 주입공 간격에 따른 개량효과를 연속적으로 파악하기 위하여 연속적 주입공 배치를 원칙으로 하였다(0.6 m 간격, Fig. 1). 또한 현장조건에 맞는 주입방법을 채택하기 위하여 manjet tube를 이용한 주입과 rod를 이용한 주입으로 나누어 시험공과 관측공을 배치하였다. 표준관입시험은 심도 1.5 m 간격으로 실시하였고 시험공 및 관측공에 대한 내용은 아래의 Table 2와 같다.

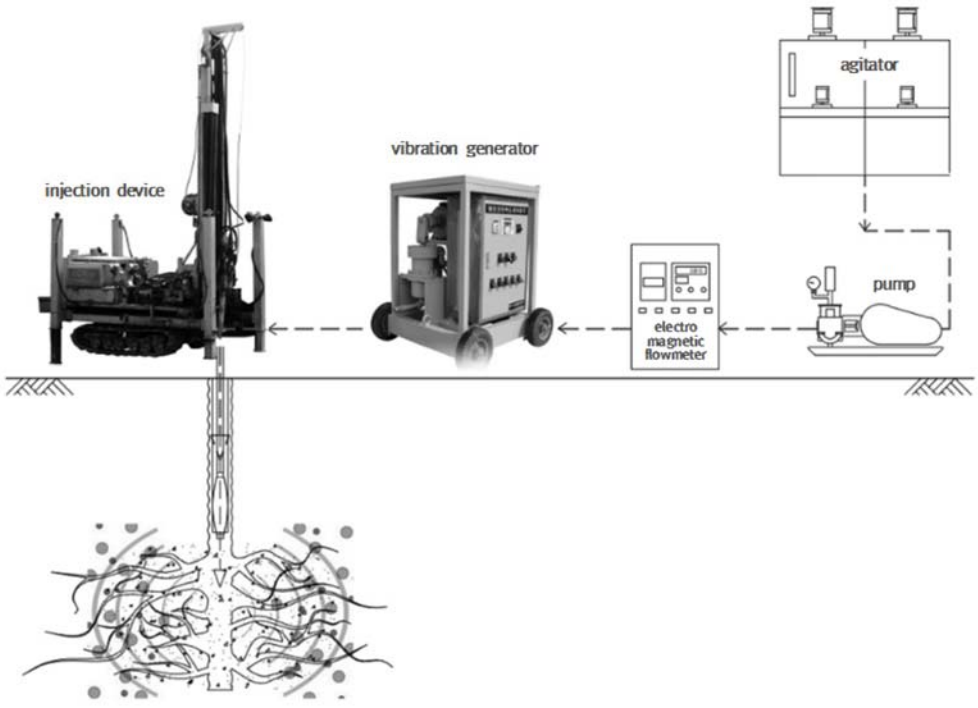

Fig. 4. Basic concepts of CGVM system (Korean Geo-Environmental Society, 2013).

Table 2. Test hole and check hole for SPT.

Site	Test Hole	Injection Method	Check Hole	Test Depth(m)
A	M-1	Manjet tube	MCH-1	1.5
	R-1	Rod	RCH-1	

Table 3. Results of SPT.

Depth (GL, m)	SPT N values			
	Before		After	
	M-1	R-1	MCH-1	RCH-1
-1.5	2/30 cm	2/30 cm	7/30 cm	5/30 cm
-3.0	19/30 cm	28/30 cm	30/30 cm	30/30 cm
-4.5	20/30 cm	5/30 cm	23/30 cm	19/30 cm
-6.0	9/30 cm	7/30 cm	25/30 cm	20/30 cm
-7.5	6/30 cm	10/30 cm	23/30 cm	17/30 cm
-9.0	13/30 cm	19/30 cm	27/30 cm	20/30 cm
-10.5	14/30 cm	22/30 cm	29/30 cm	30/30 cm
-12.0	50/8 cm	50/9 cm	50/7 cm	50/7 cm

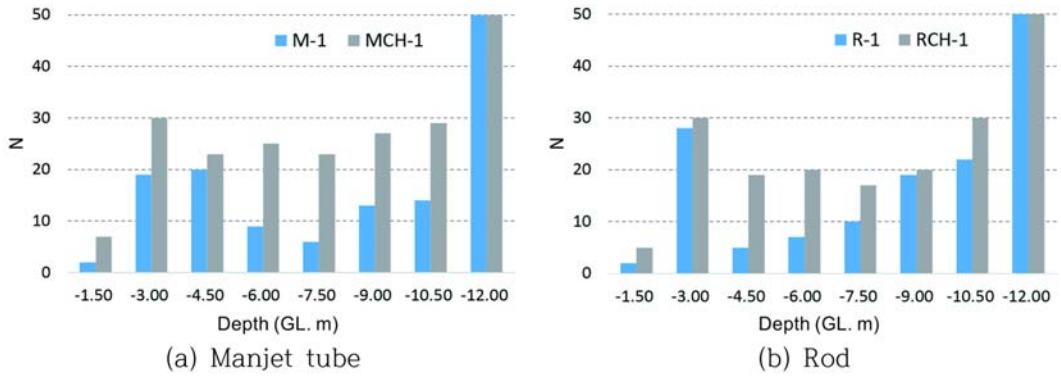

Fig. 5. SPT N values on manjet tube and rod.

시험결과 manjet tube 주입의 경우 주입 전에 비해 N 값이 60.90% 증가했으며 심도별 N 값 분석 결과 GL.-7.5 m에서 최대 증가율을 보였다. Rod 주입공의 경우 33.57% 증가했으며 GL.-4.5 m에서 최대 증가율을 보였다. 주입 방법에 대한 상대적인 비교 결과 manjet tube 주입효과(N값 증가율)가 rod 주입에 비해 12.04% 높은 것으로 나타났다 (Table 3, Fig. 5).

현장투수시험

현장투수시험은 시추공을 이용하여 시험구간 상단까지 케이싱(casing)을 삽입하고, 케이싱 상부에서 물을 주입한 후 공내의 수위변화를 측정하는 변수위투수시험법을 적용하였다. 현장투수시험은 A, B 지역에서 실시하였으며 현장투수시험을 실시한 시험공과 관측공은 아래의 Table 4와 같다.

연구지역 A의 투수시험은 주입방법의 차이에 따라 시험공을 M-1과 R-1으로 나누었으며 관측공은 MCH-1과 RCH-1로 구분하였다(표준관입시험과 동일). 심도별 투수시험 간격은 3.0 m로써 각 공별 4회 수행하였다. 연구지역 B는 총 9개 시험공에 대해 투수시험을 수행하였다. 시험공은 위치에 따라 B-1~B-9으로 나누었으며 관측공은 CH-1~CH-9로 구분하였다. B 지역의 투수시험은 총 126회(시험공 66회, 관측공 60회) 수행하였다.

Table 4. Test hole and check hole for field permeability test.

Site	Test Hole	Check Hole	Number of Test
A	M-1	MCH-1	8
	R-1	RCH-1	8
B	B-1~B-9	CH-1~CH-9	126

A 지역에 대한 주입 전 · 후 투수시험 결과 심도에 관계없이 투수계수가 감소하였다. Manjet tube를 이용한 주입 시 시공 전 평균투수계수는 각각 9.15×10^{-4} cm/sec지만 시공 후 평균투수계수는 7.85×10^{-6} cm/sec로 감소하였다.

Table 5. Results on field permeability test (site A).

Depth (GL, m)	(k = cm/sec)			
	Before		After	
	M-1	R-1	MCH-1	RCH-1
-3.0	2.34×10^{-4}	2.33×10^{-4}	6.84×10^{-6}	3.87×10^{-5}
-6.0	1.74×10^{-3}	1.36×10^{-3}	6.02×10^{-6}	3.79×10^{-5}
-9.0	1.34×10^{-3}	1.83×10^{-3}	1.25×10^{-5}	6.46×10^{-6}
-12.0	3.46×10^{-4}	1.88×10^{-4}	6.02×10^{-6}	8.97×10^{-5}
Ave.	9.15×10^{-4}	9.03×10^{-4}	7.85×10^{-6}	4.32×10^{-5}

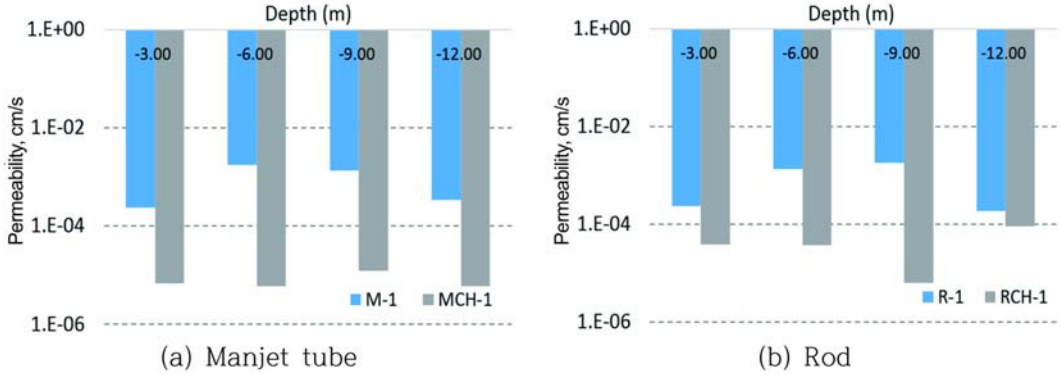

Fig. 6. Results on field permeability test (Site A).

Table 6. Results on field permeability test (site B).

Before	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	B-6	B-7	B-8	B-9	Ave.
k (10^{-4})	2.44	2.82	2.64	3.06	3.26	3.12	2.74	2.97	2.30	2.82
After	CH-1	CH-2	CH-3	CH-4	CH-5	CH-6	CH-7	CH-8	CH-9	Ave.
k (10^{-5})	4.80	4.41	4.33	4.92	4.59	4.93	4.19	4.25	3.16	4.40

Rod를 이용한 주입 시 시공 전 평균투수계수는 9.03×10^{-4} cm/sec지만 시공 후 평균투수계수는 4.32×10^{-5} cm/sec로 감소한 것으로 나타났다. 아래의 Table 5와 Fig. 6은 A지역에 대한 주입 전・후 투수시험 결과를 나타낸다.

연구지역 B의 9개 시험공에 대한 주입 전・후 투수시험 결과 모든 시추공에서 투수계수의 감소효과가 있는 것으로 나타났다. 9개 공에 대한 시공 전 평균투수계수는 2.82×10^{-4} cm/sec지만 시공 후 평균투수계수는 4.40×10^{-5} cm/sec로 낮아졌다. 아래의 Table 6과 Fig. 7은 B지역에 대한 주입 전・후 투수시험 결과를 나타낸다.

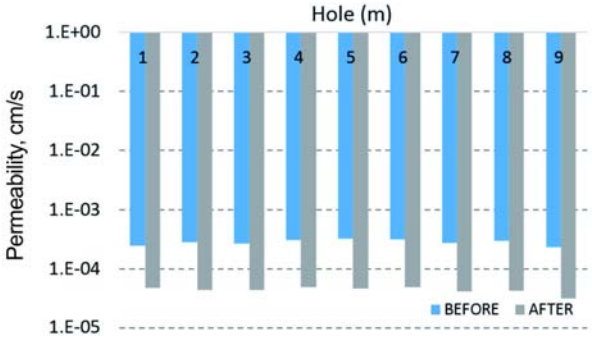

Fig. 7. Results on field permeability test (site B).

물리탐사

CGVM 공법의 효과 검증을 위해 B 지역에서 전기비저항(쌍극자 배열, SAS1000)탐사를 실시하였다. 전기비저항탐사는 지층의 각 매질별 전기전도도 차이에 따른 상대적인 전기비저항 변화에 따라 지층의 특성을 파악하는 탐사법으로써 댐 등 제체의 누수 상태 확인에 많이 사용되는 탐사법이다(Han et al., 2014). 특히 쌍극자배열법은 지하매질의 수평・수직적인 전기비저항의 분포를 현장에서 보다 효율적으로 취득할 수 있다는 장점을 가지고 있어 본 연구에서 효과검증을 위해 수행하였다. 측선 길이는 시공 전 160 m, 시공 후 182 m이며 측정심도는 50 m이다. 아래의 Fig. 8~Fig. 9는 시공 전과 후의 탐사결과를 나타낸다.

시공 전 No.1 + 00~No.8 + 00 (L = 140 m) 구간의 성토층과 중심코어 상단부에서 전기비저항 값이 78.7~118 (Ω-m)

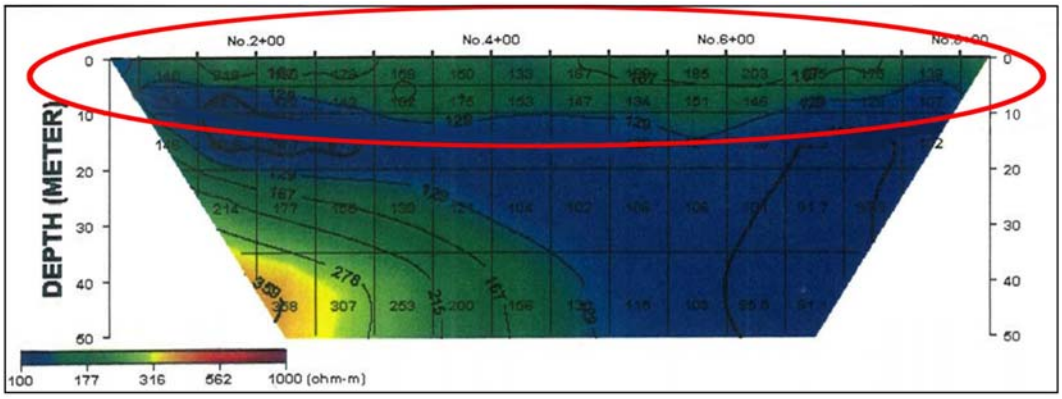

Fig. 8. Result on geophysical survey before injection.

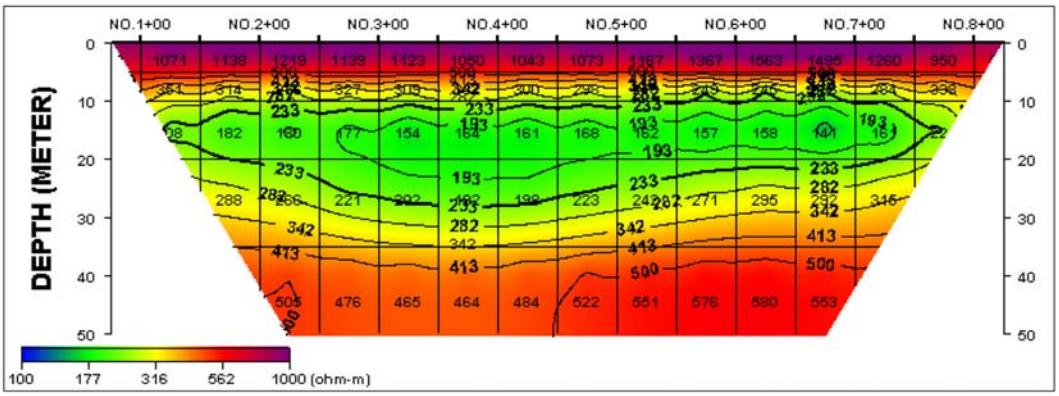

Fig. 9. Result on geophysical survey after injection.

이하의 저비저항대로 확인되었으나, 시공 후 전기비저항탐사결과 저비저항대는 거의 분포하고 있지 않으며, 전반적으로 시공 전에 나타난 이상대에 비해 비교적 높게 나타났다. 고비저항대는 상부 성토층과 기초지반으로 판단되며 전기비저항 값이 464.0~1563.0 (Ω-m) 범위로 나타났다. 또한 시공 전 현장조사 시 관찰된 하류사면 중, 하단부의 침투수에 의한 누수 및 물고임 현상이 없어진 것으로 나타났다.

결 론

본 연구는 건설신기술인 CGVM 공법의 효과를 검증하는 것이 목적으로써 2개 지역에 대해 지질 분석 후 시공 전·후의 현장시험 결과를 비교하였다.

표준관입시험 비교 결과 Manjet tube 주입의 경우 주입 전에 비해 60.90% 증가했으며 rod 주입공의 경우 33.57% 증가한 것으로 나타나 CGVM 공법의 효과가 큰 것으로 확인되었다. 현장투수시험의 경우 2개 지역에서 시공 후의 투수성이 감소된 것으로 보아 차수효과 및 저수지 제체의 안정성 등을 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 지구물리탐사 결과 시공 후 저비저항대인 이상대가 분포하고 있지 않으며 대체로 균질한 상태인 것을 고려할 때 그라우팅 효과가 매우 뛰어난 것으로 판단된다.

현장시험 결과 CGVM 공법은 지반개량, 제방누수, 지하수차수 등에 대한 현실적인 대책방법이 될 수 있을 것으로 판단되지만 향후 주입량에 대한 추가 연구 및 시공효과에 대한 지속적인 모니터링이 요구된다.

사 사

이 논문은 2016학년도 안동대학교 연구비에 의하여 수행되었음.

References

Aggelis, D. G., Polyzos, D., and Philippidis, T. P., 2005, Wave dispersion and attenuation in fresh mortar: theoretical predictions vs. experimental results, Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 53(4), 857-883.

Choi, Y. J., Kim, J. T., and Jeong, G. C., 2016, Analysis on the effect of CGVM, Proceedings of KSEG 2016 Spring Conference, 79-80 (in Korean).

El Tani, M., 2012, Grouting Rock Fractures with Cement Grout, Journal of Rock Mechanics and Rock Engineering,

45(4), 547-561.

Han, S. H., Yea, G. G., and Kim, H. Y., 2014, Improvement Effects of Cement Grouting using Vibration Method through a Field Test, Journal of the Korean Geoenvironmental Society, 15(5), 23-29 (in Korean with English abstract).

Hong, S. H. and Lee, B. J., 1982, Explanatory text of the geological map of DunJeon sheet, Korea Institute of Energy and Resources, 2-10 (in Korean).

Kim, K. W. and Park, Y. C., 1964, Explanatory text of the geological map of ChongDo sheet, Geological Survey of Korea, 4-12 (in Korean).

Korean Geo-Environmental Society, 2013, Cement grouting by vibration method, Geoenvironmental Engineering, 14(4), 79-85 (in Korean with English abstract).

Lee, M. S., Kim, J. S., Lee, S. D., Choi, Y. J., Yang, J. M., and Lee, I. M., 2010, Effect of vibratory injection on grout permeation characteristics, Journal of Korean Geotechnical Society, 26(7), 37-47 (in Korean with English abstract).

Samsoo Development Co., Sambu Construction Co., and Dong Myeong Engineering Co., 2012, New excellent technology 2nd examination presentation materials : cement grouting by vibration method, 45p (in Korean).

Seo, M. B., Kwon, S. H., and Lee, B. J., 2015, Improvement of Grouting by Short-period Vibration Energy, Journal of the Korean Geoenvironmental Society, 16(7), 35-42 (in Korean with English abstract).

Shiotani, T., Momoki, S., Chai, H., and Aggelis, D. G., 2009, Elastic wave validation of large concrete structures repaired by means of cement grouting, Construction and Building Materials, 23(7), 2647-2652.

Stille, B., Stille, H., Gustafson, G., and Kobayashi, S., 2009, Experience with the real time grouting control method, Geomech Tunnelling, 2(5), 447°©459.

Yea, G. G., Kim, G. S., Choi, Y. J., and Yang, J. M., 2010, A study on improvement of Infiltration Grouting using cement grouting by vibration method, Proceedings of Korean Geo-Environmental Society, 39-47 (in Korean).

Yu, J., 2014, Evaluation of permeating effect for dynamic grouting by model test and artificial neural network, Ph.D. Thesis, Incheon National University, 101p (in Korean).

Zebovitz, S., Krizek, R. J., and Atmatzidis, D. K., 1989, Injection of fine sands with very fine cement grout, Journal of Geotech. Engrg., 115(12), 1717-1733.

김종태

한국건설기술연구원 하천실험센터

36754 경북 안동시 남후면 아곡길 942

Tel: 054-843-1803

Fax: 054-843-1804

E-mail: kjt98@kict.re.kr

최영준

삼수개발(주)

02610 서울시 동대문구 답십리동 766번지

Tel: 02-2248-9551

Fax: 02-2247-6610

E-mail: cyj815c@naver.com

정교철

안동대학교 지구환경과학과

36729 경북 안동시 경동로 1375(송천동)

Tel: 054-820-5753

Fax: 054-822-5467

E-mail: jeong@anu.ac.kr